

Influencia de las características geométricas de viñedos de la variedad Tempranillo conducidos en espaldera en la interceptación de radiación solar

P. Junquera^{1*}, P. Sánchez-de-Miguel¹, M. de la Fuente¹, J.R. Lissarrague¹

¹Grupo de Investigación en Viticultura. Departamento de Producción Agraria. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid, España. * pedro.junquera@upm.es

Palabras clave: Vitis vinifera L., superficie foliar, densidad de vegetación, coeficiente de extinción.

Resumen

Con objeto de conocer la influencia de las características geométricas de viñedos (*Vitis vinifera* L.) conducidos en espaldera sobre la interceptación de radiación solar, se desarrolló un estudio en dos viñedos de la variedad Tempranillo entre los años 2005 y 2008. Estos viñedos tenían diferentes distancias entre filas -2, 2,5 y 3 m-, alturas de vegetación -de 0,9 a 1,4 m- y densidades de vegetación -de 6 a 14 pámpanos/metro lineal. Desde cuajado hasta mediados de maduración se midió la radiación interceptada (R_i), a lo largo del día y con frecuencia horaria, con un sensor lineal de PAR, posicionándolo por encima de la vegetación en horizontal para medir la radiación incidente (R_o), y por debajo de la vegetación en horizontal, consecutivamente hasta cubrir la distancia entre dos filas adyacentes, para medir la radiación transmitida (R_t). También se midieron el índice de área foliar total (IAFT), el índice de área foliar externa (IAFE) y el volumen ocupado por la vegetación (V). IAFT varió entre 0,9 y 2,4 m^2m^{-2} , y IAFE entre 0,7 y 1,6 m^2m^{-2} . La eficiencia de interceptación de radiación (E_i) aumentó desde 0,2 hasta 0,6 al aumentar la superficie foliar. La disminución de la distancia entre filas y el aumento de la altura de vegetación supusieron aumentos de E_i . IAFT se relacionó con el coeficiente de transmisión de la radiación (T) de forma exponencial, de acuerdo con la ley de Beer. El coeficiente de transmisión global diario (T) y el coeficiente de transmisión mínimo diario (T_{min}) se mostraron como buenos estimadores de IAFT. El amontonamiento de la vegetación redujo E_i . Así, a medida que aumentaron las relaciones IAFT/IAFE, y IAFT/V (densidad de superficie foliar) disminuyó el coeficiente de extinción (K). De estos dos índices, IAFT/V fue el que más estrechamente se relacionó con K.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de radiación solar interceptada por una cubierta vegetal depende, por una parte de la posición relativa del sol y la nubosidad, y por otra, de la forma, disposición y distribución de la vegetación. Las principales características del sistema de conducción que influyen en la radiación interceptada por un viñedo son la orientación, la distancia entre filas, y la forma y dimensiones de la pared vegetal (Smart, 1973). La distribución de la radiación en el canopy no es homogénea y depende de la geometría de la vegetación, en un sentido amplio, y de los niveles de radiación (Smart, 1985). Algunos estudios destacan la importancia de la distribución de la superficie foliar, especialmente en términos de densidad de superficie foliar (Schultz, 1995), en la distribución de la radiación solar dentro del canopy.

Varlet-Grancher et al. (1989) definieron cuatro tipos de radiaciones que componen el balance de radiación de un cultivo: la incidente, la transmitida, la reflejada por el suelo y la reflejada por el cultivo. Definieron radiación absorbida como la diferencia entre las radiaciones recibidas (incidente y reflejada por el suelo) y las radiaciones perdidas (reflejada por el

conjunto suelo-cultivo y transmitida), y radiación interceptada como diferencia entre la incidente y la transmitida. Las radiaciones reflejadas por el suelo y por la planta son cuantitativamente muy pequeñas comparadas con la radiación incidente, por lo que pueden ser ignoradas (Smart, 1973).

El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de la variación de las dimensiones del viñedo en la interceptación de radiación y estudiar la posibilidad de emplear la radiación interceptada como estimador de la superficie foliar total y externa. Además, dada la variabilidad en la cantidad y disposición de superficie foliar de estos viñedos, se analizó el efecto de la densidad de vegetación en la interceptación de radiación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Viñedos y diseños experimentales

El estudio se desarrolló entre 2005 y 2008 en dos viñedos de la variedad *Tempranillo* denominados *Distancia entre filas* y *Densidad de pámpanos*, ambos situados el centro experimental El Socorro, en la Comunidad de Madrid, España (40° 8' N, 3° 23' W, 730 msnm). Los viñedos estaban formados en cordón unilateral, con poda corta y se conducían en espadera. La dirección de las filas era norte-sur. Los tratamientos experimentales consistieron en modificaciones en la distancia entre filas, la altura de vegetación y la densidad de pámpanos, tal como se expone en la tabla 1 junto al resto de características principales de ambos viñedos. Cada tratamiento experimental estaba repetido dos veces en un diseño en bloques al azar. Cada repetición estaba formada por cuatro filas de 12 cepas. Solamente se utilizaron las dos filas centrales para las medidas experimentales. En 2005 y 2006 en el ensayo *Distancia entre filas* se combinaron dos factores de estudio en un diseño en parcelas subdivididas, la distancia entre filas como parcela y la altura de vegetación como subparcela.

Medidas de la estructura del canopy

Se midió el área foliar total (AFT, m²) en 10 pámpanos por repetición siguiendo la metodología propuesta por Sánchez-de-Miguel et al. (2011) para *Tempranillo*. AFT por cepa se calculó como el producto del AFT media del pámpano multiplicada por el número medio de pámpanos por cepa. El índice de área foliar total (IAFT, m²m⁻²) fue calculado dividiendo el área foliar de la cepa entre la superficie de suelo ocupada por cada cepa.

El área foliar externa (AFE, m²) y el volumen ocupado por la vegetación (V, m³) se calcularon a partir de medidas de altura y espesor de vegetación en 10 puntos por repetición, equidistantes a lo largo del cordón, asimilando la forma de la vegetación a un paralelepípedo. Para el cálculo de AFE no se consideró la cara inferior del paralelepípedo. El índice de área foliar externa (IAFE, m²m⁻²) fue calculado dividiendo el área foliar de la cepa entre la superficie de suelo ocupada por cada cepa. Además se calcularon las relaciones AFT/AFE (Smart, 1985), y AFT/V (m²m⁻³) o densidad de superficie foliar (Schultz, 1995).

Medidas de radiación

Los índices de radiación se calcularon de acuerdo con Varlet-Grancher et al. (1989). La radiación interceptada por el canopy (R_i) se calculó como diferencia entre la radiación incidente (R₀) y la radiación transmitida (R_t), (R_i = R₀ - R_t). La eficiencia de interceptación de radiación (E_i) se calculó como cociente entre R_i y R₀, (E_i = R_i/R₀). El coeficiente de transmisión o transmitancia (T) se calculó como cociente entre R_t y R₀ (T = R_t/R₀). El coeficiente de extinción de la radiación (K) se calculó a partir de la ecuación $T = e^{-K \cdot \text{IAFT}}$, que describe la atenuación exponencial de la radiación solar al atravesar el canopy, de acuerdo con la ley de Beer (Jones, 1992).

Para determinar R_0 y R_t se siguió la metodología propuesta por Peláez et al. (1994), que adapta la propuesta por Varlet-Grancher et al. (1989) al viñedo mediante el uso de sensores lineales. Se utilizó un sensor lineal de PAR de 1 m de longitud con corrección de coseno (LI-191SA, LICOR, Lincoln, Neb., USA) unido a un datalogger (LI-1000, LICOR, Lincoln, Neb., USA). El sensor se colocó hacia arriba sobre dos barras metálicas perfectamente niveladas, una por encima del canopy (R_0) y otra por debajo (R_t). Para medir R_t el sensor se colocaba consecutivamente un número entero de veces de forma que recorriese todo el ancho de la calle. Las medidas se realizaron en días despejados, desde el amanecer hasta el anochecer, con una periodicidad horaria. Se realizaron dos repeticiones por tratamiento experimental. Los índices de radiación se calcularon para cada hora de medida y para el conjunto del día, considerando las radiaciones acumuladas a lo largo del día. En cada día de medida se midieron AFT, AFE, V y los índices de radiación anteriormente descritos.

En el ensayo "Distancia entre filas" las medidas se realizaron: en 2005 en el período de maduración (7 de septiembre, $R_{012hs} = 1675 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); en 2006 en cuajado (5 de junio, $R_{012hs} = 2045 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y en maduración (8 de agosto y 25 de septiembre, $R_{012hs} = 1920 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $1750 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente); y en 2007 en la fase herbácea de desarrollo del fruto (11 de julio, $R_{012hs} = 2020 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y en maduración (22 de agosto, $R_{012hs} = 1775 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). En el ensayo "Densidad de pámpanos" se realizó una medida en 2008 durante el período de maduración (4 de octubre, $R_{012hs} = 1535 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Análisis estadísticos

Los efectos de la distancia entre filas y de la altura de vegetación, así como la interacción entre ambos factores, sobre los valores de IAFt, IAFE y E_i se analizaron mediante análisis de varianza. Cuando éste mostró diferencias significativas, se procedió a la comparación de medias por el test múltiple de Duncan para un nivel de probabilidad $p \leq 0,05$. Para testar relaciones entre variables se efectuaron análisis de regresión. Se empleó el programa SPSS 15.0 para todos los análisis estadísticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución diaria de E_i siguió una tendencia sinusoidal (fig. 1). En las condiciones del estudio, durante el período de maduración, los máximos de eficiencia se alcanzaron, como media, cinco horas antes y después del mediodía solar (7:00 y 17:00 hora solar), y el mínimo al mediodía solar. Las diferencias en E_i fueron mínimas en las horas centrales del día, entre las 11:00 y las 13:00 hora solar, cuando la elevación del sol alcanza su valor máximo, y los rayos inciden sobre los planos de vegetación con un ángulo pequeño, para una orientación de las filas norte-sur. En la tabla 2 se presentan los valores medios de IAFt, IAFE y E_i global diaria para las distintas distancias entre filas y alturas de vegetación, durante el período de maduración. Los valores medios de IAFt para las distintas distancias entre filas y alturas de vegetación variaron entre 1,1 y 2,3 m^2m^{-2} , y de IAFE entre 0,7 y 1,5 m^2m^{-2} . E_i global diaria varió entre 0,3 y 0,5. Los valores de E_i máxima (valor medio de E_i a las 7:00 y 17:00 hora solar) estuvieron comprendidos entre 0,7 y 0,9 y los de E_i mínima, correspondientes a E_i a las 12:00 hora solar, fueron siempre inferiores a 0,2 (datos no mostrados). IAFt, IAFE y E_i global diaria aumentaron de forma significativa al reducirse la distancia entre filas y aumentar la altura de vegetación. En la figura 2 se representa la relación entre T y IAFt. La relación se ajustó con un alto grado de correlación a una ecuación exponencial, de acuerdo con la ley de Beer. Lo mismo sucedió cuando los valores del coeficiente de transmisión correlacionados fueron los mínimos diarios, lo que se corresponde con la máxima eficiencia de interceptación (figura 3). En las condiciones de este estudio, el coeficiente de extinción en la variedad "Tempranillo" tuvo un

valor medio de 0,32, variando entre 0,27 y 0,42 (figura 2). La relación AFT/AFE estuvo comprendida entre 1,1 y 1,7, lo que para una vegetación conducida en un plano, supone aproximadamente entre 2,2 y 3,4 capas de hojas. La densidad de superficie foliar (AFT/V), estuvo comprendida entre 9,6 y 14,5 m²m⁻³. Ambos índices, AFT/AFE y AFT/V se relacionaron de forma exponencial con el coeficiente de extinción, de manera que a mayor proporción de superficie foliar interna y a mayor amontonamiento de vegetación, menor fue K. Sin embargo, el grado de correlación fue superior en el caso de la densidad de superficie foliar (figura 4) (R²=0,66 frente a R²=0,28, este último dato no mostrado).

REFERENCIAS

- Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate. Cambridge University Press. London.
- Peláez, H., Yuste, J., Rubio, J.A. and Lissarrague, J.R. 1994. Balance de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en sistemas de conducción del viñedo mediante sensores lineales. Actas GESCO nº 7: 236-241.
- Sánchez de Miguel, P., Junquera, P., de la Fuente, M., Jiménez, L., Linares, R., Baeza, P. and Lissarrague, J.R. 2011. Estimation of vineyard leaf area by linear regression. Spain. J. Agric. Res. 1: 202-212.
- Schultz, H.R. 1995. Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I. A two-dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems. Vitis 34: 211-215.
- Smart, R.E. 1973. Sunlight interception by vineyards. Am. J. Enol. Vitic. 24: 141-147.
- Smart, R.E. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. Am. J. Enol. Vitic. 36: 230-239.
- Varlet-Grancher, C., Gosse, G., Chartier, M., Sinoquet, H., Bonhomme, R. and Allirand, J.M. 1989. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. Agronomie 9: 1-21.

Tabla 1. Características de los ensayos y tratamientos experimentales.

Ensayo	Patrón	Año plantación	Distancia entre filas (m)	Distancia entre plantas (m)	Año	Nº pámpanos/m	Altura vegetación (m)
Distancia entre filas	140 Ru	2000	2 / 2,5 / 3	1.25	2005	12	0,9-1,0
					2006	12	0,9-1,0 / 1,1-1,2
					2007	10	0,9-1,0 / 1,3-1,4
Densidad de pámpanos	110 R	1999	2	1.1	2008	6 / 8 / 10 / 12 / 14	0,9-1,0

Tabla 2. Índices de área foliar total y externa (IAFT y IAFE) y eficiencia de interceptación de radiación global diaria (Ei), para distancias entre filas de 2, 2,5 y 3 m, y alturas de vegetación de 0,9-1,0, 1,1-1,2 y 1,3-1,4 m, durante el período de maduración.

Distancia filas (m)	Altura vegetación (m)	SFT (m ² m ⁻²)	SFE (m ² m ⁻²)	Ei
2	0,9-1,0	1,68	1,11	0,43
	1,1-1,2	1,75	1,27	0,44
	1,3-1,4	2,29	1,49	0,51
2.5	0,9-1,0	1,32	0,85	0,35
	1,1-1,2	1,71	1,05	0,40

	1,3-1,4	1,97	1,20	0,44
	0,9-1,0	1,15	0,76	0,30
	1,1-1,2	1,22	0,92	0,33
	1,3-1,4	1,54	1,01	0,40
Distancia filas (m)	2	1,91 a	1,29 a	0,46 a
	2,5	1,67 b	1,04 b	0,40 b
	3	1,30 c	0,89 c	0,34 c
	Significación	***	***	***
Altura vegetación (m)	0,9-1,0	1,39 b	0,91 c	0,36 b
	1,1-1,2	1,56 a	1,08 b	0,39 ab
	1,3-1,4	1,93 a	1,23 a	0,45 a
	Significación	**	***	**
Distancia filas x Altura vegetación	Significación	ns	ns	ns

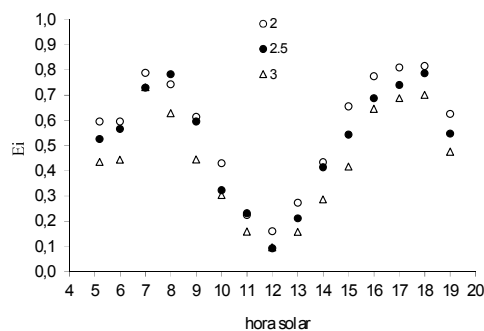


Fig. 1. Evolución diaria de la eficiencia de intercepción de radiación (E_i), en filas orientadas norte \square sur, para distancias entre filas de 2, 2,5 y 3 m y altura de vegetación de 1,3-1,4 m, 22 de agosto de 2007 ($R_{012hs} = 1775 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Las series se ajustan a las siguientes ecuaciones: (2) $y = 0,355 \text{ SEN } (0,635 \times \square 9,169) + 0,570$ ($p \leq 0,01$; $R^2=0,86$); (2,5) $y = 0,341 \text{ SEN } (0,630 \times \square 9,101) + 0,504$ ($p \leq 0,01$; $R^2=0,92$); (3) $y = 0,324 \text{ SEN } (0,635 \times \square 9,160) + 0,457$ ($p \leq 0,01$; $R^2=0,93$).

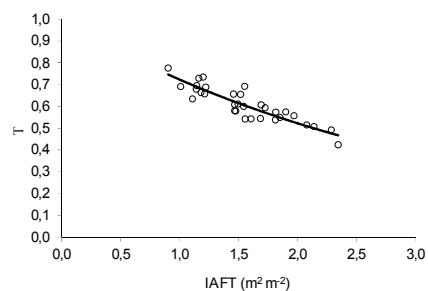


Fig. 2. Relación entre el índice de área foliar total (IAFT) y el coeficiente de transmisión global diario (T). La línea se ajusta a la siguiente ecuación: $y = e^{-0,325x}$ ($p \leq 0,001$; $R^2=0,80$).

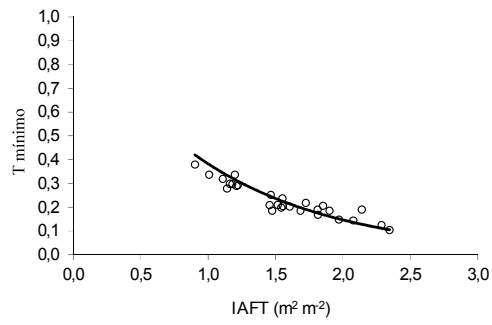


Fig.3. Relación entre el índice de área foliar total (IAFT) y el coeficiente de transmisión mínimo diario (T mínimo). La línea se ajusta a la siguiente ecuación: $y = e^{-0.96x}$ ($p \leq 0.001$; $R^2 = 0.81$).

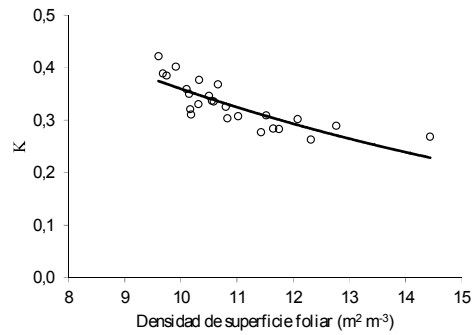


Fig.4. Relación entre la densidad de superficie foliar y el coeficiente de extinción global diario (K). La línea se ajusta a la siguiente ecuación: $y = e^{-0.1022x}$ ($p \leq 0.001$; $R^2 = 0.66$).